

⑫ 特 許 公 報 (B 2)

平2-55745

⑬ Int. Cl.⁵

識別記号

庁内整理番号

⑭ 公告 平成2年(1990)11月28日

G 01 N 22/04

C

7172-2G

発明の数 1 (全9頁)

⑮ 発明の名称 マイクロ波による相対含水率測定装置

⑯ 特 願 昭63-145559

⑰ 公 開 平1-53140

⑱ 出 願 昭55(1980)7月14日

⑲ 平1(1989)3月1日

⑳ 特 願 昭55-96157の分割

優先権主張 ㉑ 1979年7月14日 ㉒ 西ドイツ(DE) ㉓ P2928487.5

㉔ 発 明 者 ウォルフガング・メイ ドイツ連邦共和国2105 ゼーベタル エリカウエク2
ヤー㉕ 発 明 者 ウォルフラム・シルツ ドイツ連邦共和国2 ノーデルシュテット アリケルステ
イーク18㉖ 出 願 人 エヌ・ペー・フィリッ オランダ国5621 ペーアー アインドーフエンブルーネヴ
ブス・フルーイランベ アウツウエツハ1
ンフアブリケン㉗ 代 理 人 弁理士 杉村 暁秀 外1名
審 査 官 時 枝 裕 子

1

2

⑳ 特許請求の範囲

1 測定対象物の相対含水率 ψ をマイクロ波により密度と無関係に測定するため

測定対象物を配置されない場合の機械的および電気的特性が既知であるマイクロ波アプリケーションに測定対象物を配置し、

測定周波数において測定対象物がマイクロ波アプリケーションの誘電特性に及ぼす影響を測定する測定手段を備える

マイクロ波による相対含水率測定装置において、

次式

$$A^* = \frac{\epsilon'(\psi, \rho) - 1}{\tan \delta}$$

15 で与えられる量 A^* を決定する決定手段(ここで $\epsilon'(\psi, \rho)$ および $\epsilon''(\psi, \rho)$ は誘電率 $\epsilon = \epsilon_0(\epsilon' - j\epsilon'')$ の実数部および虚数部をそれぞれ示し、20 $\tan \delta = \frac{\epsilon''}{\epsilon'}$ であり、 ρ は測定対象物の密度である)と、前記決定手段によつて決定した A^* に対する値と共に校正曲線 $A^*(\psi)$ から含水率 ψ を導出する導出手段とを備え、該校正曲線が測定対象物の物質並にマイクロ波アプリケーションの機械的および電気的特性に対し固有のものである

ことを特徴とするマイクロ波による相対含水率測定装置。

2 前記マイクロ波アプリケーションが複素伝送係数を測定する測定手段を備える特許請求の範囲第1項記載の測定装置において、前記マイクロ波アプリケーションが複素反射係数を測定する測定手段を備える測定装置。

発明の詳細な説明

本発明は、測定対象物の相対含水率をマイクロ波により密度と無関係に測定するため、測定対象物を配置されない場合の機械的および電気的特性が既知であるマイクロ波アプリケーションに測定対象物を配置し、測定周波数において測定対象物がマイクロ波アプリケーションの誘電特性に及ぼす影響を測定する測定手段を備えるマイクロ波による相対含水率測定装置に関するものである。

3

元来、重量測定による物品の含水率を決定することは可能である。實際上、測定対象物品は乾燥した状態および含水状態において重量を測定される。その場合絶対含水率は2つの重量測定の結果の差に等しい。相対含水率（パーセントで表した）は

$$\psi(\%) = 100 \times \frac{m_w}{m_w + m_d}$$

に等しく、ここで m_w は測定対象物に含まれる水の質量、 m_d は測定対象物の乾燥状態の質量である。しかし連続的プロセスにおけるかかる重量測定は長時間を必要としかつ高価となるので、ある場合にたいしては既に他の測定方法が使用されている。

例えば、後に列挙したHasted著の文献1.から、含水物質の複素誘電率 ϵ はマイクロ波に対する複素インピーダンス（減衰および位相推多）を測定することにより決定できることが既知である。マイクロ波領域における水の特殊な性質に基づいてこの複素誘電率は当該物質に含まれる水の絶対量の目安となる。この方法に基づく測定装置は後に列挙したKraszewski著の文献2.に記載されているが、この測定装置では別個の密度測定、例えば重量測定によらなければ相対含水率 ψ を決定することができない。従つて相対含水率 ψ の測定のための上述した欠点は解決されない。また、後に列挙した文献3.には、測定対象物を所定形状において一定密度および温度で測定し、それから相対湿度に対する校正曲線を導出することが提案されている。しかしこの方法は、測定対象物を常に所定形状において取扱わなければならないという欠点がある。連続測定プロセス（ベルト・コンベヤ）においてはこれは著しく不利であり、その理由はベルト・コンベヤ上の測定対象物（小麦、コーヒ、砂、タバコ）の高さは一定でなく、従つて相対含水率の決定に当たり測定誤差が直接導入されるからである。

測定対象物の相対含水率 ψ を厚さおよび／または密度と無関係に測定するための冒頭に記載した種類の方法は後に列挙した文献4.から既知である。この文献には、測定対象物が均質でありかつ減衰および位相推多が乾燥状態の測定対象物の重量および水分の重量と共に直線性で変化する場合、相対含水率につき測定対象物の層の密度およ

4

び高さに依存しない関係式を誘導することができることが記載されている。該関係式の誘導に当たり課せられた前記制限の他、この文献の第368頁の第6および第7図に記載されているように、測定対象物層の高さに関する依存性が部分的に残存している。誤差は含水率に依存しており、従つて極めて厄介であることを見出した。

本発明の目的は、測定対象物の相対含水率 ψ を測定対象物の高さおよび密度とは無関係に簡単且つ正確な態様で測定できる相対含水率測定装置を提供するにある。

かかるマイクロ波による相対含水率測定装置は、次式

$$A = \frac{\epsilon'(\psi, \rho) - 1}{\epsilon''(\psi, \rho)}$$

で与えられる量 A を決定する決定手段（ここで $\epsilon'(\psi, \rho)$ および $\epsilon''(\psi, \rho)$ は誘電率 $\epsilon = \epsilon_0(\epsilon' - j\epsilon'')$ の実数部および虚数部をそれぞれ示し、 ρ は測定対象物の密度である）と、

決定手段によつて決定した A に対する値と共に校正曲線 $A(\psi)$ から含水率 ψ を導出する導出手段とを備え、該校正曲線が測定対象物の物質並びにマイクロ波アプリケーションの機械的および電気的特性に対し固有のものとすると好適である。

本発明の目的は、高さおよび密度とは無関係に測定対象物、特に低誘電率を有する低損失測定対象物のマイクロ波による相対含水率測定装置を提供するにある。かかるマイクロ波による相対含水率測定装置は、マイクロ波源、マイクロ波アプリケーション、マイクロ波検出器、マイクロ波源からマイクロ波アプリケーションを介しマイクロ波検出器に至るマイクロ波の位相推多 ϕ および伝送減衰 A_t を測定する測定手段、

次式

$$A = \frac{\epsilon' - 1}{\epsilon''} = \frac{\phi_c^2 - \phi_0^2}{A_t \phi_c}$$

で与えられる量 A を決定する決定手段（ここで ϕ_0 はマイクロ波アプリケーションに測定対象物が存在しない場合の位相推多、 ϕ_c はマイクロ波アプリケーションに測定対象物が存在する場合の位相推多、 A_t はマイクロ波アプリケーションに測定対象物が存在する場合の伝送減衰）、および A につき決定された値から校正曲線 $A(\psi)$ を介して相対含水率

ψ を導出する導出手段を備えると好適である。

次に、本発明に関連する文献を参考のため列挙しておく。

- 1 Hasted J. B. "Aqueous Dielectrics", Chapman and Hall, London, P.57, 238
- 2 Kraszewski, A. "Microwave instrumentation for moisture content measurement" Jnl of Microw. Power, Vol.8, No. 3 / 4, 1973, pp.323-335.
- 3 Kalinski J. "Einige Problem der industriellen Feuchtigkeitsmessung mit Microwellen", Microwellen magazin, Vol.6, 1978, pp.441-452
- 4 Kraszewski A. Kalinski S. "An improved microwave method of moisture content measurement and control". IEEE Trans IECI, Vol.23, 1976, pp.364-370.
- 5 Meyer W. Schilz W. "Microwave absorption by water in organic materials", in Dielectric materials, measurements and applications IEE Conf. Publ.177, Londonp 1979, p.215.

(1) 一般的な説明

マイクロ波による水分測定の原理は、マイクロ波周波数においては水の複素誘電率 (9GHzにおいて $\epsilon = 63 - j31$) が多くの乾燥状態の物質又は材料の複素誘電率とは著しく相違するという事実を基礎とする。その結果、含水状態の物質または材料の誘電特性は含水率にかなり左右され、これは誘電率 $\epsilon = \epsilon_0(\epsilon' - j\epsilon'')$ の実数部および虚数部の値で表される。

多種多様な實際上重要な物質 (タバコ、茶、小麦) については適度に低い含水率に対する ($\epsilon'(\psi, \rho) - 1$) および $\epsilon''(\psi, \rho)$ の比は密度 ρ には左右されないことが見出された。これは、次式

$$A(\psi) = \frac{\epsilon'(\psi, \rho) - 1}{\epsilon''(\psi, \rho)} \quad (1)$$

において ϵ' および ϵ'' を同時に決定し、密度 ρ とは無関係に測定装置を $A(\psi)$ につき校正することにより相対含水率 ψ を決定することができることを意味する。この方法は、上記文献4に記載されている如く、当該物質に関する位相お

よび減衰が乾燥状態の当該物質の水分および密度と直線性で変化するようなものにしか適用できないが、一般的には式(1)において分母が分子に比例する場合には適用される。

しかしある物質例えば羊毛に対しては式(1)は実験結果と十分に合わなくなる。かかる場合には下記の修正された関係式 $A^*(\psi)$

$$A^*(\psi) = \frac{\epsilon'(\psi, \rho) - 1}{\tan \delta(\psi, \rho)} \quad (2)$$

が良好に成立つ。

原理的には、測定すべき対象物の寸法を知らなければ、式(1)に示した誘電率の実数部および虚数部をある周波数において絶対的かつ同時に決定することは不可能である。後で詳述するように、 ϵ' および ϵ'' を含む A は長さとは無関係に測定することができ、かつ試験すべき物品の密度とは無関係になるように選定することができる。

(1) 伝送線路および導波部 (特にマイクロストリップ、導波管、例えば2個のホーン形放射器の間の自由空間)

I. 長さ L (例えば高さ、厚さ) の未知の測定対象物が同軸ケーブル、導波管または2個のホーン形放射器間の自由空間の形態とすることができる導波アプリケーションタ (guide applicator) が存在するとする。測定対象物が存在しない場合の伝送空間の波動抵抗 Z_0 と、測定対象物の複素インピーダンス Z_L との非に対しては

$$\left(\frac{Z_0}{Z_L}\right)^2 = \frac{(1 - S_{11})^2 - S_{21}^2}{(1 + S_{11})^2 - S_{21}^2} = R + jI. \quad (3)$$

となり、ここで S_{11} は複素反射係数、 S_{21} は複素伝送係数である。平面波に対する波動抵抗

$$Z_0 = \frac{120 \pi}{\sqrt{\epsilon_1 \mu_0}} \quad (4)$$

は同軸TEM波に対しては (但し μ_0 は真空の透磁率)

$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_1 \mu_0}} \ln \frac{r_0}{r_1} \quad (5)$$

となり、ここで r_0 は外側導波部の半径、 r_1 は

7

内側導波部の半径である。これから同軸 TEM 波に対しては

$$A = \frac{\epsilon_1' - 1}{\epsilon_1''} = \frac{1 - \epsilon_0 R_c}{\epsilon_0 I_c} \quad (6)$$

が成立ち、ここで R_c および I_c は式(3)で与えられる。

H 形導波管に対しては

$$Z_c = \frac{120 \pi}{\sqrt{\epsilon_1 \mu_0 - (\lambda / \lambda_c)^2}} \quad (7)$$

が成立ち、ここで λ_c はこの導波管における遮断波長、 λ はこの導波管における作動周波数である。これより

$$A = \frac{\epsilon_1' - 1}{\epsilon_1''} = \frac{1 - (\lambda / \lambda_c)^2 - \epsilon_0 R_c}{\epsilon_0 I_c} \quad (8)$$

が得られる。

同様な関係式は部分的に充填された導波部、平面導波部および表面導波管に対しても得ることができる。また式(6)および(8)は極めて長い測定対象物、即ちそれにおいては伝送を確立することができずかつ長さの定義が無意味である無限の測定対象物に対しても成立つ。その場合、式(3)による A に対する測定値においては S_{21} の値は零となる。

測定すべき対象物が著しく低い損失を有しかつ小さい誘電率 $\epsilon_1' \simeq \epsilon_0$ を有する特殊な場合には、式(3)を適用すると実際の測定*

$$\frac{f_1 - f_0}{f_1} + \frac{j}{2} \left(\frac{1}{Q_1} - \frac{1}{Q_0} \right) = (1 - \epsilon_1' - j \epsilon_1'') \frac{\int V_s \epsilon_0 \vec{E}_0 \vec{E}_1 dV_s}{\int V_c (\epsilon_0 \vec{E}_0 \vec{E}_1 dV_s + \mu_0 \vec{H}_0 \vec{H}_1) dV_c} \quad (14)$$

で計算される。

この式において添字 0 は測定対象物が存在しない状態の電界 E 、磁界 H 、周波数 f 、共振器の Q 値および誘電率に関連し、添字 1 は共振器の一部が被測定対象物で満たされた状態に関連する。小さい摂動に対する積分式は実数となる。その場合 A は

$$A = \frac{\epsilon_1' - 1}{\epsilon_1''} = 2 \frac{(f_1 - f_0) / f_1}{(1 / Q_1 - 1 / Q_0)} \quad (15)$$

となり、ここで

Q_0 = 被測定対象物で満たされていない状態

8

に対しては極めて不正確になる。この場合にも、測定対象物の長さは測定された位相

$$\phi_c = \beta_c l [\text{rad}] \quad (9)$$

(但し β_c は位相係数、 l は測定対象物の長さ) および減衰

$$A_c = \alpha_c l [\text{ネーパ}] \quad (10)$$

(但し α_c は減衰係数、 l は測定対象物の長さ) を適切に組合せることによって除外することができる。

$$\beta_c \cdot l = \sqrt{\left(\frac{\omega}{C_0} \right)^2 \cdot \epsilon_1' - k_c^2} \cdot l; k_c = \frac{2\pi}{\lambda_c} \quad (11)$$

但し C_0 は光の速度

$$\alpha_c \cdot l = \frac{\left(\frac{\omega}{C_0} \right)^2 \cdot \epsilon_1''}{2\beta_c \cdot l} \cdot l^2; \omega = 2\pi f \quad (12)$$

と共に

$$A(\psi) = \frac{\epsilon_1' - 1}{\epsilon_1''} = \frac{\phi_c^2 - \phi_0^2}{A_c \phi_c} \quad (13)$$

に対しては

$$\phi_0 = \beta_0 l = \sqrt{\left(\frac{\omega}{C_0} \right)^2 \epsilon_0 - k_c^2} \cdot l$$

となる。

(2) 共振器

低損失の誘電体を導入する際の共振器の周波数および Q 値の変化は摂動理論により次式

の共振器の Q 値

Q_1 = 被測定対象物で満たされた状態の共振器の Q 値、

f_0 = 測定対象物で満たされていない状態での共振器周波数、

f_1 = 被測定対象物で満たされた状態での共振器周波数。

(2) 相対含水率測定装置の実施例

實際上、マイクロ波による密度に左右されない含水率測定装置は主としてアプリケーション (または検知ヘッド) およびいわゆるマイクロ波回路網を備えて、例えば送信され反射される信号

を測定することにより、被測定対象物の複数インピーダンスを電気信号から導出し、更にこの測定装置は表示器を有する信号処理部備え、この信号処理部では式(1)および(2)から得られる密度に左右されない関係式を例えばマイクロプロセッサにより測定信号から導出し、被測定対象物につき実験における測定から既知の校正曲線 $A(\psi)$ と比較する。

第1図にアプリケーションの3例を示す。

第1a図は2個の導波管接続部を有するいわゆる反転イメージラインを示す。図中1は低域通過誘電体で、媒体2において $\epsilon \gg 6$ で変化する高誘電率 ($\epsilon \approx 6$ 、例えばスタイキヤスト (Stycast、商品名)) の導波管を示す。被測定対象物は表面上を矢印4の方向に進行させ、反射係数および伝送係数を介して測定される誘電特性を変化させるようにする。

第1b図は対向する2個のホーン形放射器5および6を備えるアプリケーションを示し、2個のホーン形放射器の間に配設した空所7において平面EM波を発生させ、測定対象物は空所7内に配置する。

第1c図はマイクロストリップ・アプリケーションを示す。入力端10に供給された信号を出力端11に案内する導電細条9を誘電体基板8上に配設する。この信号によつて発生する電界が誘電体基板8上にも存在するから、この誘電体基板上に配置される測定対象物のマイクロ波案内特性に対する影響が決定される。

第2図は一定温度において12.5GHzで測定した2つの物質小麦およびタバコに対する校正曲線 $A(\psi)$ をそれぞれ曲線wおよびtで示す。第4図は、相対含水率が未知のタバコの $A(\psi)$ の値が ρ/cm^3 で表した密度 (ρ) の変化と共にどのように変化するかを示す。この図から明らかに $A(\psi)$ の値は20及び22の間において変化し、平均値は21である。第3図はタバコにつき一定密度 $\rho = 0.26 (\rho/\text{cm}^3)$ における $A(\psi)$ および ψ の間の関係を示す。第3および4図から分かるように、密度が未知のタバコについては $A(\psi)$ の値は常に20および22間に位置し、従つて、既知の相対含水率4%を有するタバコの $A(\psi)$ が測定された後第3図の曲線によつて決定される ψ の値は3.6% ($A(\psi) = 22$) および4.2% ($A(\psi) = 20$)

の間に位置し、従つて、決定された ψ の値における密度の影響は比較的小さい。

第5図は第1図のアプリケーションを用いて決定された校正曲線 $A(\psi)$ 及び ψ の間の関係を示し、即ち曲線Iは第1b図のアプリケーションにタバコを充填し、測定周波数を9GHzとした場合に得られた $A(\psi)$ 及び ψ の間の関係を示し、曲線IIは第1c図のマイクロストリップ・アプリケーションに小麦を充填し、測定周波数を9GHzとした場合に得られた $A(\psi)$ 及び ψ の間の関係を示し、曲線IIIは第1a図のアプリケーションにタバコを充填し、測定周波数を12.5GHzとした場合に得られた $A(\psi)$ 及び ψ の関係を示す。第2図および第5図から明らかなように、校正曲線 $A(\psi)$ は測定対象物の形態および使用されるアプリケーションの機械的および電気的特性に特有のものである。

測定対象物の含水率を決定するマイクロ周波数 f の選定は重要である。第6図は多数の相対含水率の値に対し羊毛の $\tan\delta$ の変化を測定周波数の関数として示す。破線は乾燥状態 ($\psi = 0$) の測定対象物に対する $\tan\delta$ の変化を周波数 f の関数として示す。実線は5、9、14、23および26%の相対含水率を有する測定対象物に対する $\tan\delta$ の変化を周波数 f の関数として示し、羊毛に対しては極めて高い測定周波数 $f = 15\text{GHz}$ を選定して可能な最大測定感度を得るようにする必要がある。第6図から明らかなように、低い周波数範囲における感度は依然大きい、低い周波数範囲での測定は、イオン導電度に感応するという欠点を有する一方、前記文献5.および1.から明らかなように約10GHz以上ではこの影響は実際上重要でない。

羊毛の測定に当り測定周波数15GHzを選定した場合、第6図に従つて得られる $\tan\delta$ の変化を相対含水率または相対湿度の関数として第7図に示す。

羽毛、タバコおよび羊毛の如き多種多様な有機物質に関する測定から、 $\epsilon'(\psi, \rho)$ (従つて $\epsilon'(\psi, \rho) - 1$) および $\epsilon''(\psi, \rho)$ の両方の変化が実際上密度に直線性で依存していることを見出した。従つて式(1)を導出する際に課せられる要件は必ず満足される。第8a図は $\epsilon''(\psi, \rho)$ の変化を密度 ρ の数として示し、第8b図は $\epsilon'(\psi, \rho)$ の変化を密度 ρ の関数として示し、第8c図は第8a図および第8b図の値から式(1)により算

11

出したAの値を示し、乾燥状態の羊毛における密度の測定範囲は 0.025 g/cm^3 から 0.2 g/cm^3 の間である。

第9図に示した本発明の含水率測定装置の実施例はシェーバ12と、ダブル・ホーン形放射器13と、マイクロ波発振器、混合器およびマイクロ波検出器を含むマイクロ波回路網14と、信号処理ユニット15と、表示装置16とを備え、信号処理ユニット15は例えば式(13)に従って密度 ρ とは無関係に値Aを決定し、例えばメモリ・テーブルに記憶した校正曲線 $A(\psi)$ を介して相対含水率を決定し、これを表示装置16に表示する。

本例の測定装置では、ホーン形アプリケーションの他に例えば第1aおよび第1b図に示した別のアプリケーションを何等の障害を付随することなく使用することができる。

第10図は本発明の測定装置の他の実施例を示す。なお第10図において(a)実際のマイクロ波部(約9GHz)を破線結線によって示し、(b)中間周波数部(約10MHz)を実線結線によって示し、(c)低周波処理部(約10KHz)を点線結線によって示す。

実際のマイクロ波部は例えばガン(Gunn)発振器の形態の第1発振器17および第2発振器18を備え、これらの発振器は水晶振動子により安定化される位相同期ループにより10MHzの一定周波数間隔においてほぼ9GHzに維持するようにする。第1発振器17の信号はアプリケーション19に供給し、このアプリケーション内またはこのアプリケーション上に測定対象物を配置する。アプリケーション19の出力端における信号を第1混合器20に供給して第2発振器18から送出された10MHzだけ周波数の推多した信号と混合させる。第2の高周波混合器21を使用し、これに第1および第2発振器から信号を供給して位相同期ループ23のため出力端子22に10MHzの制御信号を発生させる一方、測定対象物存在しない場合アプリケーション19におけるマイクロ波の位相推多および減衰の目安となる信号を発生させる。

上記中間周波数部は第1基準発振器24(約10MHz)に接続され、かつ増幅器24aを介して混合器21の出力端に接続された位相同期ループ23を備える。位相同期ループ23の出力端子は

12

電圧制御発振器18の制御入力端子25に接続する。更に、中間周波数部は第2基準発振器26(約9.99MHz)を具え、これを別の混合器28の第1入力端子27に接続する。混合器20の出力信号は混合器28の第2入力端子29に供給する。従って混合器28の出力端子30に10KHzの信号が生ずる。更に第2基準発振器26は別の混合器32の第1入力端子31に接続する。その場合混合器21の出力信号は混合器32の第2入力端子33に供給する。従って混合器32の出力端子34にも10KHzの信号が生ずる。

低周波処理部は混合器28および32にそれぞれ接続した10KHz帯域通過フィルタ35および36を備える。これら2個のフィルタ35、36の出力信号は振幅差発生装置37に供給して、アプリケーション19における測定対象物によつて生じた減衰 A_r を決定するようにする。2個のフィルタ35および36の出力信号はそれぞれ変換器38および39を介し位相差発生装置40に供給して、測定対象物によりアプリケーション19において生じた位相差 ϕ_r を決定する。振幅差発生装置37および位相差発生装置40はマイクロプロセッサの如き処理ユニット41に接続し、この処理ユニットは ϕ_r および A_r の商から値Aを算出し(式(13)により)、次いでメモリに記憶した校正曲線に関する情報を介して相対含水率 ψ を決定する。

第11図はタバコを収納しかつタバコの誘電特性を決定するための螺旋状共振器(アプリケーション)の形態の測定装置を示し、この装置はタバコ43を収納する石英管42、共振周波数を調整するための金属コイル44、高周波結合部45および遮蔽部材46で校正する。タバコを導入した後測定値から式(15)により $A(\psi)$ が決定される。

図面の簡単な説明

第1図は本発明で使用するアプリケーションの3例を示す斜視図、第2図は本発明で使用する12GHzの周波数に対する小麦(w)およびタバコ(t)の密度に無関係な校正曲線 $A(\psi)$ を示す図、第3図は一定密度 $\rho = 0.26 \text{ g/cm}^3$ のタバコに対する校正曲線 $A(\psi)$ を示す図、第4図は含水率を測定すべきタバコの種々の密度 ρ における測定点を示す図、第5図は本発明によりAの測定値から含水率 ψ を決定するため第1図に示したアプリケーションと関連する校正曲線を示す図、第6図は羊毛に

13

対する $\tan\delta$ の変化を数個の含水率 ψ につき測定周波数の関数として示す図、第7図は相対含水率の関数として第6図から導出した $\tan\delta$ の変化を示す図、第8図は ϵ' 、 ϵ'' および A の変化を密度 ρ の関数として示す図、第9図は本発明の含水率測定装置を示す簡略ブロック図、第10図は本発明の含水率測定装置の実施例を示すブロック図、第11図はタバコおよび巻きタバコの含水率測定用のアプリケーションの略線図である。

1……導波管、2……媒体、3……導波管接続部、5、6……ホーン形放射器、7……測定空所、8……誘電体基板、9……導電細条、10……入力端、11……出力端、12……シエーハ、

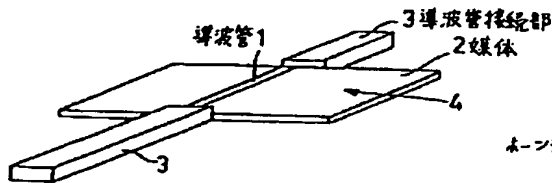


FIG. 1a

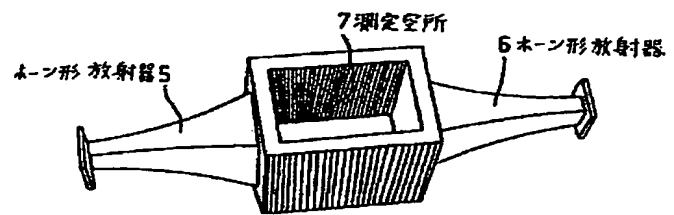


FIG. 1b

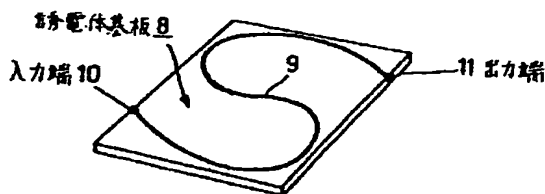


FIG. 1c

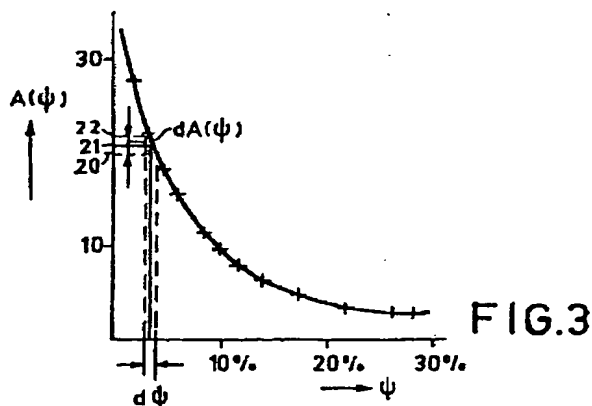


FIG. 3

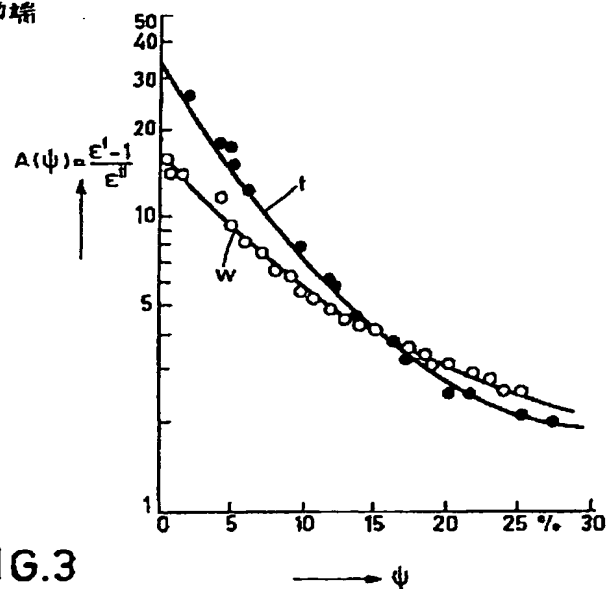
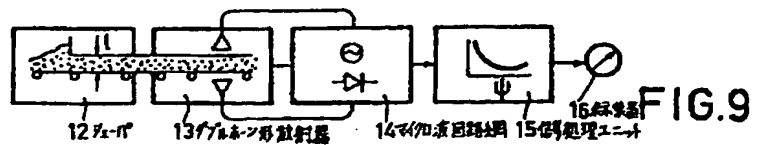
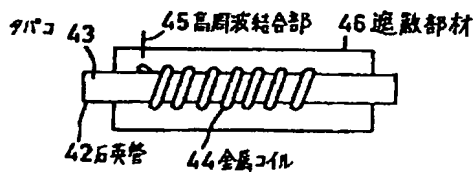
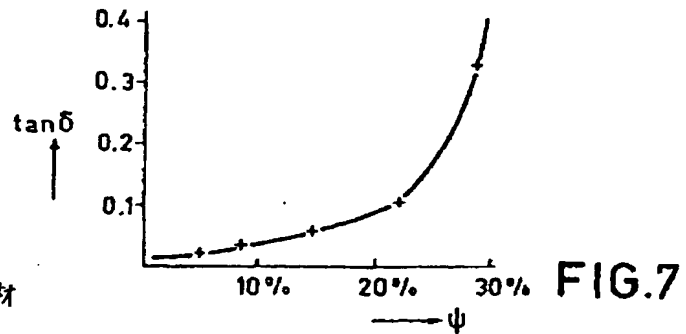
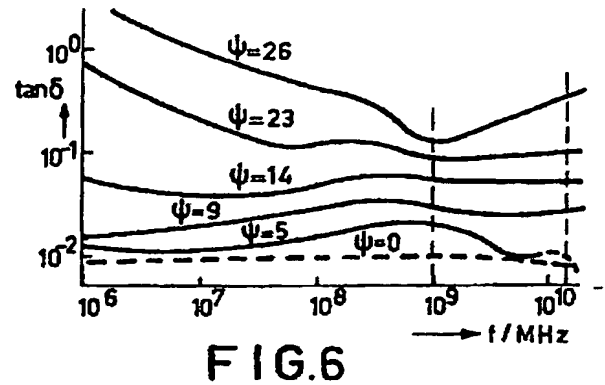
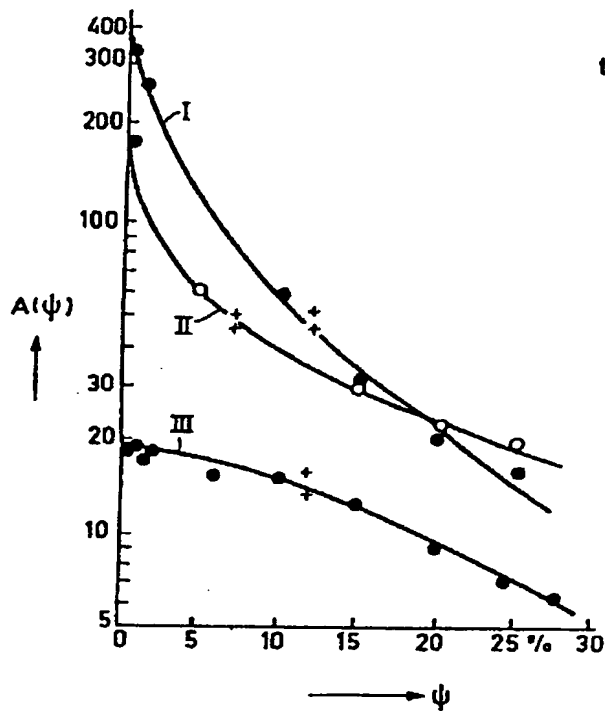
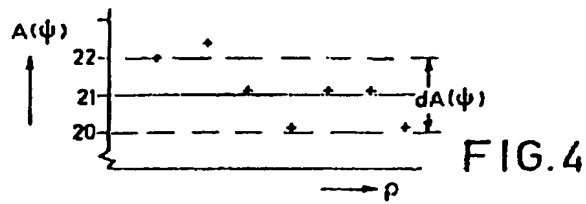


FIG. 2

13……ダブル・ホーン形放射器、14……マイクロ波回路網、15……信号処理ユニット、16……表示装置、17……第1発振器、18……第2発振器、19……アプリケーション、20……第1混合器、21……第2混合器、23……位相同期ループ、24……第1基準発振器、24a……増幅器、26……第2基準発振器、28……混合器、32……混合器、35、36……帯域通過フィルタ、37……振幅差発生装置、38、39……変換器、40……位相差発生装置、41……処理ユニット、42……石英管、43……タバコ、44……金属コイル、45……高周波結合部、46……遮蔽部材。



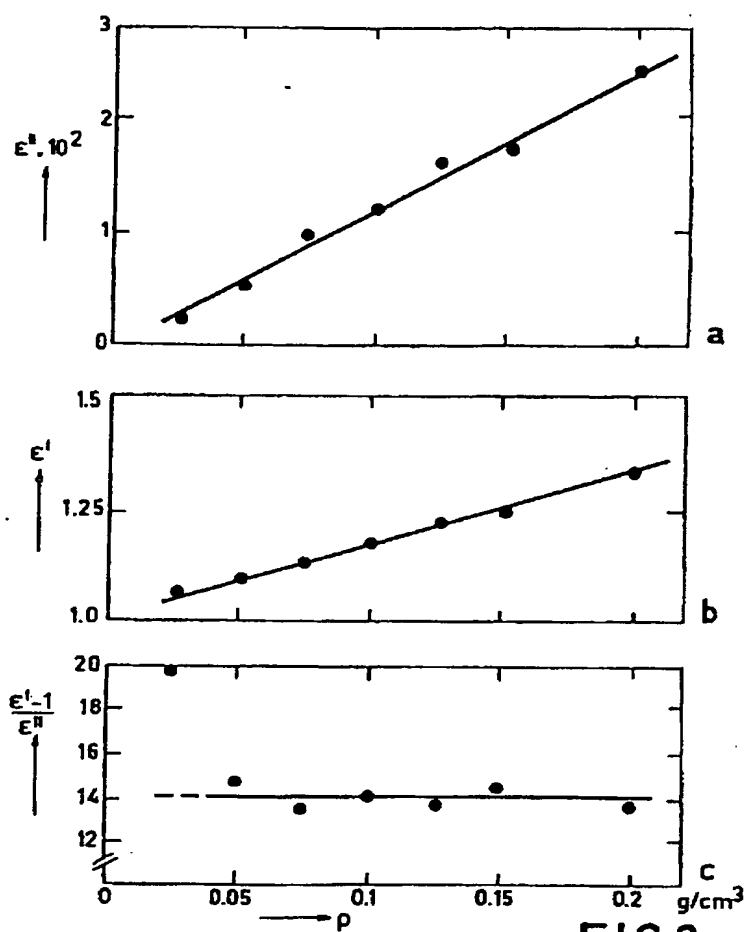


FIG.8

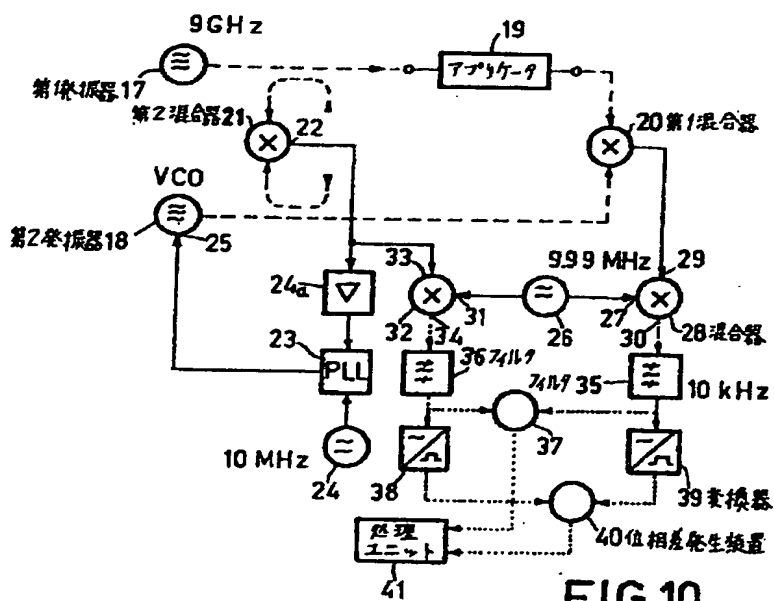


FIG.10